

L'interpretazione del profilo stratigrafico



La proposta del Servizio
Valanghe Svizzero

Jürg Schweizer,
Thomas Wiesinger
Istituto federale per lo studio della neve e delle
valanghe SNV
Flüelastrasse 11,
CH-7260 Davos Dorf, Svizzera

L'interpretazione di un profilo stratigrafico fa parte del lavoro quotidiano di qualsiasi servizio di previsione valanghe. Tuttavia la valutazione del profilo è considerata un'arte più che una tecnica. In pratica si possono utilizzare tutte le procedure conosciute, e di conseguenza la maggior parte dei previsori ha i suoi metodi. Il servizio valanghe svizzero ha il compito di analizzare due volte al mese circa 110 profili stratigrafici registrati dai suoi rilevatori. Questo compito richiede molto tempo e i risultati non sono del tutto omogenei. Si è dunque presa in esame parte del processo di decision making di alcuni esperti previsori del Istituto federale per lo studio della neve e delle valanghe SNV. Sulla base di questa vasta esperienza, ogni parametro rilevato in un profilo stratigrafico con un test di stabilità è stato descritto ai fini della valutazione della stabilità. Viene proposto uno schema di valutazione della stabilità provvisorio per condizioni di neve asciutta. I criteri principali sono i valori del test del blocco, la durezza, la presenza e il tipo di strati deboli, il tipo e la dimensione dei grani. Questo dovrebbe aiutare in futuro i previsori ad interpretare in modo più coerente i profili stratigrafici.



INTRODUZIONE

La valutazione della stabilità della neve viene considerata l'elemento essenziale della previsione delle valanghe (McClung and Schaefer, 1993). I dati più importanti per la valutazione della stabilità provengono dalle osservazioni sulla frequenza delle valanghe e i profili stratigrafici, preferibilmente associati a un test di stabilità come il test del blocco (RB). L'interpretazione del profilo stratigrafico fa dunque parte del lavoro quotidiano dei previsori di valanghe, ed integra il metodo indiretto, con il quale si valuta il pericolo di valanghe sulla base di fattori meteorologici concomitanti (Atwater, 1954).

Nelle pagine precedenti: esecuzione del profilo stratigrafico (pag.28); blocco di slittamento (pag.29): durante le fasi 4 e 5 di caricamento si salta sopra. Se il lastrone è molto soffice può essere opportuno saltare sul punto a maggior coesione (es. seguendo la procedura canadese).

A lato: profilo della linea di frattura del blocco: sono ben evidenti il lastrone ed il sottostante strato debole (questo è ciò che cerchiamo di individuare!).

Ciascun profilo viene associato a una classe di stabilità: molto scarsa, scarsa, discreta, buona e molto buona. Ad esempio, durante l'inverno 1999-2000 i previsori hanno preso in esame 1.119 profili (734 provenienti da aree di osservazione piane e 384 da pendii ripidi, la maggior parte di loro mediante il test del blocco, pochissimi con una prova di compressione).

Questa procedura richiede molto tempo mentre i risultati dipendono parzialmente dal punto di vista del previsore incaricato.



La stabilità della neve è il rapporto tra resistenza e carico (sciatore, neve fresca, ecc.) su uno strato o punto di contatto debole. La valutazione della stabilità significa invece valutare le probabilità di distacco di valanghe con le condizioni della neve prese in esame. Sebbene la scala di classificazione del rischio usata in Europa si basi sulla stabilità della neve (Meister, 1995), quest'ultima viene descritta solo in termini generali. In Canada esiste un sistema di valutazione della stabilità che cerca di definire le categorie che si possono verificare tramite osservazione, dati o esperimenti (McClung and Schaefer, 1993; CAA, 2002).

Sebbene un profilo stratigrafico, anche quando integrato con un test della stabilità come il test del

blocco, non sia sufficiente per ricavare una valutazione della stabilità definitiva, esso rappresenta comunque solitamente l'informazione più importante, in particolare in periodi di attività valanghiva piuttosto bassa.

Allo scopo di perfezionare la procedura di analisi del profilo abbiamo preso in esame la valutazione di stabilità, esaminato il processo di decision making di previsori esperti e ricavato alcune linee guida generali su come interpretare i profili di neve asciutta. Scopo della relazione è quindi quello di descrivere gli elementi da considerare per l'interpretazione del profilo e del test di stabilità e quindi fornire una descrizione di ciascuna delle cinque classi di stabilità con l'aiuto di questi elementi.



and Föhn (1996) hanno invece integrato le informazioni sulla stabilità nei loro modelli di previsione regionale basati sulla statistica. Essi hanno inoltre abbozzato un primo schema su come assegnare un profilo stratigrafico con un test di stabilità ad una certa classe di stabilità della neve (Schweizer et al. 1992). Recentemente, Schweizer and Jamieson (2001) hanno descritto le caratteristiche del manto delle valanghe innescate da sciatori.

METODI

La valutazione della stabilità basata sull'interpretazione del profilo stratigrafico e del test di stabilità significa essenzialmente ricercare i sintomi di instabilità (McClung, 1999) più che di stabilità.

L'interpretazione del profilo stratigrafico si basa largamente sull'esperienza. Dunque non possiamo descrivere un metodo rigoroso su come siamo riusciti a raggiungere i nostri risultati. Abbiamo infatti usato diversi elementi. Per prima cosa abbiamo cercato di quantificare l'esperienza di alcuni previsori con l'aiuto di un questionario, quindi abbiamo discusso del problema con esperti. Inoltre ci siamo serviti di uno schema messo a punto da Schweizer et al. (1992) e delle nozioni generali descritte ad esempio da McClung and Schaefer (1993). Infine facciamo riferimento ad alcuni recenti risultati sulle caratteristiche del manto nevoso di valanghe innescate da sciatori (Schweizer and Jamieson, 2001).

Al momento di interpretare un profilo stratigrafico, abbiamo a disposizione i seguenti parametri misurati o stimati: altezza della neve, stratigrafia, tipo di grano, dimensione e durezza dei grani, tenore d'acqua liquida (neve asciutta, umida, ecc.), temperatura della neve, durezza

della sonda (non sempre), densità (non frequentemente), valore del test del blocco (RB), spessore del lastrone, informazioni sul tipo di cedimento del blocco, ad esempio l'intera parte del blocco o solo una parte, o se il piano di frattura è liscio o ondulato.

Abbiamo poi usato un questionario per analizzare l'importanza di certi parametri così come considerati da 10 esperti previsori e/o ricercatori dell'Istituto Federale per lo studio della neve e delle valanghe. Questi dovevano classificare 14 profili di neve perlopiù asciutta sulla base di molte domande, e in particolare l'importanza di certi parametri. Infine abbiamo testato lo schema di valutazione della stabilità derivato applicandolo a circa 100 profili stratigrafici scelti a caso, il che ha rivelato alcune carenze. Ripetendo questa procedura, lo schema preliminare è stato perfezionato con successo.

RISULTATI DEL QUESTIONARIO

La valutazione dei questionari ha dimostrato che in generale l'accordo sullo schema di valutazione della stabilità dei profili è relativamente alto tra i diversi previsori ma, cosa interessante, fornendo argomentazioni spesso molto diverse tra loro. Presenteremo solo i risultati ricavati dalle domande in generale.

La Figura 1 mostra che la maggior parte dei previsori considerano molti parametri al momento di interpretare un profilo stratigrafico. Sette previsori su 10 prendono in esame 4 o 5 dei 7 parametri proposti. Il tenore d'acqua liquida viene difficilmente preso in esame, eccetto in primavera, così come la temperatura della neve. Quest'ultima viene presa in esame per verificare se vi è un prevalere di condizioni di neve asciutta, ma nessuno dei previsori usa in modo esplicito

A fianco: esecuzione del test della mano per definire empiricamente la resistenza dei singoli strati.

Importanza relativa dei parametri per l'interpretazione del profilo (molto importante: 1, non importante: 0).

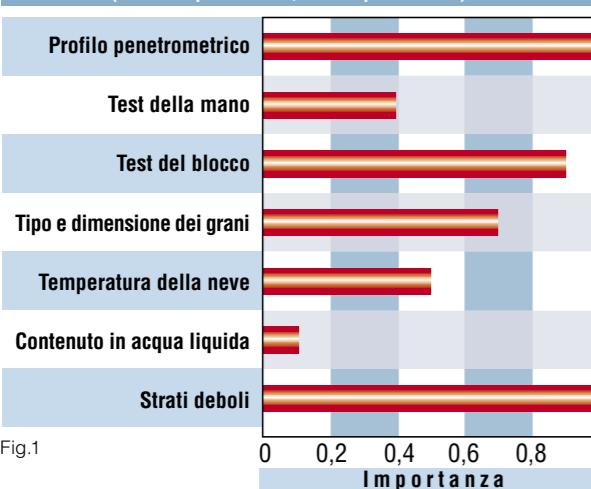


Fig.1

Importanza relativa dei parametri per l'interpretazione del test del blocco (molto importante: 1, non importante: 0).

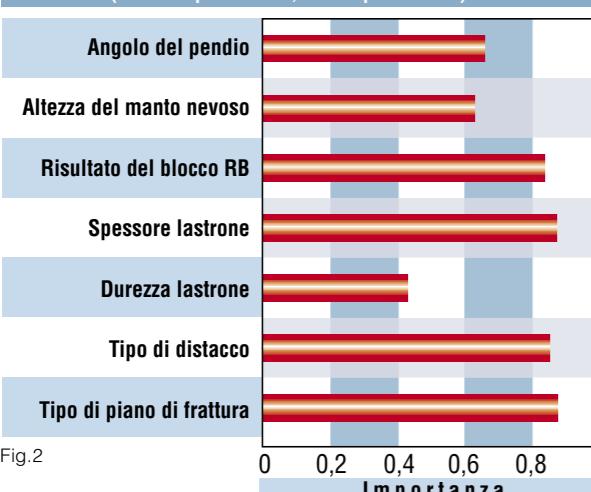


Fig.2

la temperatura della neve per la valutazione della stabilità in presenza di neve asciutta. Alcuni di loro prendono in esame l'effetto delle future variazioni di temperatura sulla stabilità della neve. La scarsa importanza accordata al test della mano è piuttosto sorprendente, ma si spiega con il fatto che in Svizzera la maggior parte dei profili prendono in esame la durezza della sonda. Poiché la durezza con la mano è una misurazione più soggettiva, si preferisce quest'ultimo parametro. I tre parametri maggiormente presi in considerazione sono il profilo penetrometrico, i valori del test del blocco e l'esistenza e il tipo di strati deboli.

Un risultato simile viene indicato in Figura 2 relativamente all'interpretazione di un test del blocco. Ancora una volta ciascuno dei previsori considera molti parametri. Quelli valutati in modo omogeneo come i più importanti sono i valori RB, lo spessore del lastrone e il tipo di piano di frattura. Una valutazione importante, ma meno omogenea, è il tipo di distacco (blocco interno, distacco sotto gli sci, solo uno spigolo).

DESCRIZIONE DEI PARAMETRI

Sulla base degli elementi d'esperienza sopraccitati abbiamo descritto ciascuno dei parametri osservati in un profilo stratigrafico completo ai fini della valutazione della stabilità.

Tipo di grano

Gli strati deboli di valanghe innescate da sciatori sono solitamente composti da brina di superficie, grani sfaccettati o brina di profondità (p.e. Föhn, 1993). Questi tipi di grani sono generalmente più grandi e hanno facce piane. Il numero di legami è relativamente basso, il che rende gli strati formati da questi tipi di grani più deboli rispetto ad altri (Jamieson and Johnston, 2001). Essi vengono anche chiamati permanenti (Jamieson, 1995) e tendono ad acquisire lentamente una certa resistenza. Gli strati deboli permanenti che sono rimasti sepolti per alcuni giorni o addirittura settimane diventano arrotondati e sono dunque meno critici, ma mostrano ancora di frequente tagli netti.

Dimensione del grano

Maggiori sono i grani, minore è il numero di legami per volume unitario, e questo in particolare in combinazione con tipi di grani permanenti. Al contrario, gli strati composti da grani di piccole dimensioni indicano piuttosto resistenza. Le importanti differenze di dimensione dei grani tra uno strato all'altro di solito non favoriscono l'instabilità.

Esistenza di strati o punti di contatto deboli

Minore è la stabilità, più vi sono importanti strati/punti di contatto deboli. In un profilo valutato come buono, sono presenti strati deboli solo moderatamente importanti o potenzialmente ininfluenti. L'assenza di strati/punti di contatto deboli denota ottima stabilità. Al crescere della stabilità gli strati deboli diventano meno probabili, mentre i punti di contatto sono più probabili. Le fratture nei punti di contatti spesso interessano una

crosta. La resistenza del legame degli strati adiacenti alla crosta non si può giudicare in base a un profilo stratigrafico, sempre che questo non sia integrato da un test di stabilità.

Indice di durezza con la mano

Gli strati deboli sono solitamente morbidi, perlopiù con indice di durezza "pugno", a volte "da pugno a quattro dita". Sebbene l'indice di durezza con la mano venga stimato in modo abbastanza soggettivo, è importante cercare le differenze di durezza, essendo queste frequentemente associate a strati o punti di contatto deboli. In particolare, una differenza di durezza di due gradi sulla scala di durezza, strato duro su soffice, va interpretata come segno d'instabilità. Gli strati deboli critici si trovano spesso schiacciati tra strati più duri. Gli strati duri come le croste si trovano più di frequente in caso di sedimenti nei punti di contatto. In generale, elevati gradienti di durezza tra due strati sono fattori più critici di piccole differenze, e frequenti variazioni del segno di gradiente sono indici negativi.

Gli strati spessi a bassa resistenza costituiti da cristalli sfaccettati o brina di profondità nella parte superiore del manto spesso non hanno coesione sufficiente per rappresentare potenziali strati di lastroni, anche in presenza di un importante strato debole direttamente sottostante. La stessa situazione si può verificare ogni tanto durante le tempeste di neve.

Temperatura della neve

In condizioni di neve asciutta la temperatura della neve non indica potenziale instabilità, mentre in generale la temperatura della neve ha un valore limitato. A volte si usa per valutare il trend di

Classificazione dei profili penetrometrici

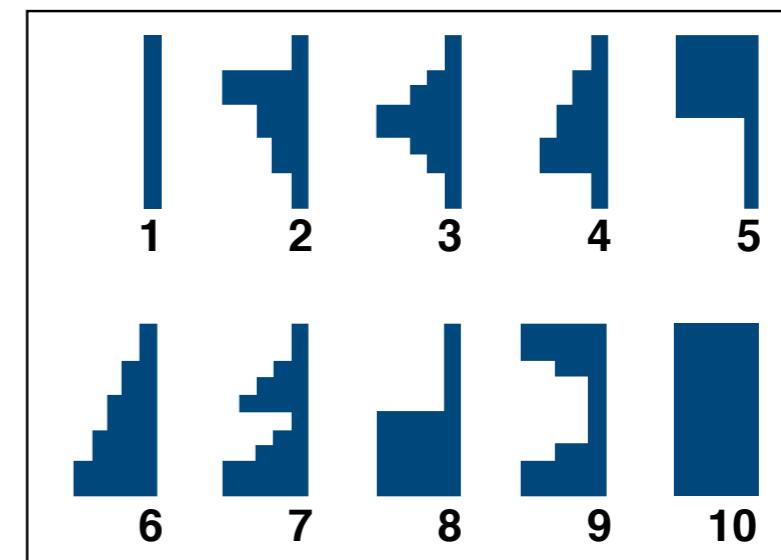


Fig.3

Fig.4

Schema di valutazione del manto nevoso con test di stabilità per profili in presenza di neve asciutta

Classe di stabilità	Descrizione
5 molto buona	Nessun strato debole critico presente. Generalmente ben consolidato (resistenza alla sonda R superiore a circa 100 N), alcuni strati soffici (neve fresca o cristalli sfaccettati) possibili vicino alla superficie. Sul fondo del manto nevoso possono essere presenti cristalli sfaccettati, ma con R>100 N ("4 dita" o più duri). Anche il fondo è solitamente ben consolidato, anche se talvolta può essere presente una base potenzialmente debole di grandi cristalli sfaccettati o brina di profondità, ma coperta da uno strato abuona coesione di notevole spessore (almeno 70 cm con R>200 N). Tipo di profilo: 4, 6 o 10 Indice rutschblock: 6 o 7
4 buona	Possono essere presenti strati deboli, ma non molto importanti, p.es. senza tagli netti visibili. Generalmente la parte centrale è ben consolidata con R>100 N, oppure si nota una crosta dura sporgente dello spessore di alcuni centimetri nella terza parte superiore del manto. Sul fondo può essere presente una base potenzialmente debole con grandi cristalli sfaccettati o brina di profondità, coperta però da neve di coesione (almeno 50 cm con R>100 N). Può accadere che il manto ceda se si applicano forti sollecitazioni nei punti di contatto o sugli strati deboli meno marcati, oppure in cima allo strato di brina di profondità. Tipo di profilo: 2, 3, 4 o 6. Indice rutschblock: 5 o 6.
3 discreta	Sono presenti strati deboli con tagli netti visibili, ma valori transitori (RB 4,5). Gli strati deboli sono spesso formati da forme permanenti arrotondate. Sono presenti alcuni strati soffici con R=40 N (ad eccezione della neve fresca in cima), ma la maggior parte del manto è abbastanza consolidata. Tipo di profilo: 2, 3, 4, 8 o 9. Indice rutschblock: 4 o 5; di tanto in tanto 3, per es. in presenza di lastroni spessi sovrapposti.
2 scarsa	Sono presenti importanti strati e/o punti di contatto deboli, con tagli netti visibili. Strati deboli di brina di superficie o cristalli sfaccettati, maggiori di 1 mm, o punti di contatto presenti all'interno della neve fresca o parzialmente assestata, o nella neve fresca sopra la crosta. La durezza del lastrone è R<40 N (da "pugno" a "4 dita"). Vi possono essere alcuni strati ben consolidati (R=100...300 N), ma lo spessore di questi strati è inferiore a 30 cm. Tipo di profilo: 1, 2, 5, 7, 8 o 9. Indice rutschblock: 2 o 3.
1 molto scarsa	Sono presenti importanti strati e/o punti di contatto deboli. Strati deboli sottili di brina di superficie o grani sfaccettati, maggiori di 1-2 mm, schiacciati tra strati più duri, o cristalli sfaccettati su croste. Il fondo è spesso debole, di tanto in tanto coperto da un solo strato di lastroni di coesione. La resistenza alla sonda può essere bassa dalla cima al fondo (R=20 N). In generale la resistenza alla sonda sopra lo strato debole è R<50 N, spesso il "pugno". Non sono presenti strati duri con R>150 N, le croste sono solitamente sottili e non sono visibili nel profilo penetrometrico. Tipo di profilo: 1, 5, 7 o 9. Indice rutschblock: 1 o 2.

stabilità essendo data una certa distribuzione della temperatura, stratigrafia e previsto trend di evoluzione della temperatura dell'aria. La temperatura della neve diventa importante quando il manto tende a diventare isotermico.

Tenore d'acqua liquida

Il tenore d'acqua liquida non viene misurato ma stimato. Fin quando il manto nevoso non è (o almeno in parte) isotermico, il tenore d'acqua liquida non è importante ai fini della valutazione dell'instabilità.

Profilo penetrometrico

Il profilo penetrometrico indica la distribuzione verticale della resistenza alla penetrazione o alla durezza della sonda del manto nevoso. La risoluzione è limitata e dunque gli strati sottili, sia duri sia soffici, vengono spesso omessi. Con questo metodo si possono rilevare strati soffici di almeno 5-10 cm di spessore. In ogni caso si può osservare ad esempio se lo strato di base del manto è debole (brina di profondità). Questo è un importante fattore da valutare, cioè se una valanga dovuta al cedimento del manto nevoso superiore possa spazzare via strati più profondi del manto, provocando una valanga molto più grande. Di solito si possono identificare anche le strutture dei lastroni.

Il profilo della durezza si caratterizza come 1 dei 10 tipi di profili proposti da Schweizer and Lütschg (2000) (Figura 3). In questo caso si prende in esame la forma in generale. Quando si tratta di classificare un profilo di durezza con la mano, le croste sottili vengono ad esempio omesse. I tipi di profilo da 1 a 5 hanno tutti un fondo debole, mentre i profili da 6 a 10 sono ben consolidati sul fondo. Il tipo di profilo 1, 5, 7 e 9 indica potenziale instabilità.

I profili da 6 a 10 rappresentano in generale condizioni stabili, mentre i tipi 2, 3, 4 e 8 non si possono assegnare in modo definitivo, ma tutti mostrano alcune debolezze potenziali, ma solitamente meno critiche, a seconda delle condizioni.

La presenza di un fondo debole di brina di profondità non è di per sé importante. La maggior parte dei profili mostrano infatti un fondo debole a causa del nostro tipo di clima da intermedio a continentale. Se il profilo mostra un buon consolidamento nella sua parte mediana (profilo a forma di pancia associato a un fondo debole), ciò denota buona o ottima stabilità.

Densità

Gli strati critici sono meno densi degli strati circostanti. Tuttavia solitamente non sono disponibili le misurazioni di densità di distinti strati deboli. La densità non denota direttamente l'instabilità della neve. La densità viene usata per calcolare il carico presente su uno strato debole, se non che vi sia una misura della resistenza, questa ha sempre un'importanza limitata. In generale, la presenza di neve densa (calda) sopra neve a scarsa coesione (fredda) è un fattore negativo, ma questa viene di solito riconosciuta in base alla durezza o la differenza di dimensione dei grani.

Indice RB

Gli indici RB da 1 a 3 sono chiari segni d'instabilità (Föhn, 1987; Jamieson, 1995, Schweizer, 2002). Gli indici 4 e 5 indicano stabilità di transizione, mentre i valori 6 e 7 sono generalmente associati a manti nevosi stabili. Questa valutazione è valida per i risultati dei test in cui l'intero blocco si è staccato e la superficie di frattura indica un taglio netto. Un distacco parziale e/o tagli non netti indicano di conseguenza una maggiore

stabilità.

Su un pendio più ripido è previsto un valore più basso, ma in ogni caso l'influenza del pendio è piuttosto limitata (Jamieson e Johnston, 1993). Dunque non vi è necessità di correzione per i test del blocco eseguiti su pendii con angolazione compresa tra circa 30 e 40°. I valori RB derivati da pendii più ripidi o meno ripidi rispetto a questi limiti si possono correggere di 1 grado dell'indice RB.

Poiché un blocco viene isolato dal manto nevoso circostante, non vi è resistenza periferica. Dunque possiamo avere il cedimento di un blocco in uno strato debole profondo coperto da uno strato forte di lastroni spessi, ma innescare il distacco di un lastrone su un pendio è ancora poco probabile, eccetto forse in un punto poco profondo.

Gli strati vicini alla superficie non si possono testare (strato meno profondo rispetto alla penetrazione dello sci), ma vanno comunque presi in considerazione. Talvolta, durante o subito dopo una nevicata, può succedere che il lastrone non abbia ancora una sufficiente coesione, e quindi il valore RB tende a sottovalutare la situazione nel periodo a breve termine.

In generale, le proprietà del lastrone influiscono sui risultati del test del blocco, ma non è chiaro ad esempio come valutare il potenziale di propagazione della frattura.

Spessore dello strato

Un manto nevoso con molti strati sottili è generalmente più instabile di un manto costituito solo da pochi strati relativamente spessi.

Gli strati deboli possono essere molto sottili (millimetri), ma di solito sono di spessore inferiore ad alcuni centimetri. In casi estremi l'intero manto può essere debole,

e dunque potrebbe essere designato come strato debole, ma in generale se parliamo di strati deboli abbiamo presente uno strato con spessore di pochi centimetri (circa \leq 3-5 cm).

Più vicino alla superficie si trova lo strato debole, più critico esso si rivela per l'innesto di distacchi da parte dello sciatore. Tuttavia, se lo strato è presente nei primi 15 cm circa, esso è meno critico. Il range più favorevole ai fini dell'instabilità è compreso tra 15 e 75 cm circa. Se uno strato di brina di profondità sul terreno è più sottile delle asperità del terreno, generalmente è difficile che sia critico, e lo stesso vale per uno strato forte spesso appoggiato sullo strato di brina di profondità.

Lo spessore del lastrone può variare da centimetri a metri. Più spesso e più duro è il lastrone sovrapposto allo strato debole, meno probabile è un distacco da parte dello sciatore. D'altra parte, la presenza di un lastrone duro e compatto sopra su uno strato debole può creare una valanga spontanea mano a mano che il carico del lastrone aumenta (nevicata, accumulo eolico).

Le croste si trovano comunemente nel nostro manto nevoso. Le croste sottili si trovano perlopiù nei profili valutati da buono a discreto, mentre le croste spesse, che offrono resistenza, sono più comuni nei manti stabili.

SCHEMA DI INTERPRETAZIONE

Sulla base della descrizione dell'instabilità di cui sopra, viene proposto il seguente schema provvisorio e semplificato per la valutazione della stabilità sulla base dei dati del profilo stratografico e del test di stabilità (figura 4). Vi sono sempre eccezioni che non possono rientrare nel sistema riportato nella figura 4.

Il suddetto schema verrà applicato nell'inverno seguente e dunque va riveduto. Al momento è applicabile unicamente alle valanghe di lastroni di neve asciutta innescate da sciatori. In primavera vanno presi in considerazione altri parametri, anche nel caso di distacco di valanghe spontanee.

Bisogna inoltre sottolineare che ai fini della previsione del rischio di valanghe qualsiasi valutazione di stabilità va integrata con la potenziale instabilità. Solo con questa informazione supplementare il pericolo di valanghe può essere valutato in modo efficace.

CONCLUSIONI E PROSPETTIVE

I dati sul profilo e la stabilità sono una delle chiavi essenziali per valutare la stabilità del manto nevoso per la previsione delle valanghe. Allo scopo di perfezionare l'interpretazione del profilo stratografico abbiamo analizzato, mediante un questionario, il processo di decision making di previsori esperti al momento di interpretare i profili stratografici.

Sulla base di ciò e delle conoscenze più avanzate, è stato stilato un elenco di criteri in modo tale da assegnare un profilo a una certa classe di stabilità del manto. I criteri principali sono:

indice del test del blocco, durezza, presenza e tipo di strati deboli, tipo e dimensione dei grani. Abbiamo poi descritto un approccio strutturato per l'interpretazione del profilo stratografico; tuttavia esperienza e valutazione sono ancora necessari. Qualsiasi schema ricavato è dunque provvisorio ed incompleto e va testato e perfezionato durante l'uso. Malgrado la sua incompletezza, il sistema di valutazione della stabilità messo a punto sarà di aiuto ai previsori per interpretare in modo più omogeneo il gran numero di

profili che essi ricevono.

L'uso di un sistema esperto sarebbe l'ideale per il complesso e intuitivo processo di decision making nell'ambito dell'interpretazione del profilo stratografico. Questo studio potrebbe dunque aprire la strada allo sviluppo di un sistema esperto

che fornisca una prima ipotesi sulla stabilità sulla base di un profilo stratografico (costruito su modello o rilevato), e che infine venga incorporato nel sistema GIS attualmente utilizzato per la stesura del bollettino valanghe. Questo fornirebbe una mappa della stabilità della neve, un ulteriore strumento a supporto del previsore. Sulla mappa della stabilità si potrebbero riportare altri parametri sulla neve e le condizioni meteo, così da valutare l'evoluzione temporale della stabilità.

Per il futuro, nuovi metodi di misurazione della struttura del manto (Schneebeli et al., 1999) potrebbero rendere più efficace la valutazione della stabilità sulla base di informazioni sul manto, oltre a fornire utili informazioni sulla variabilità spaziale dei parametri.



Ringraziamenti

Siamo grati a tutti i rilevatori di profili stratografici e per i contributi degli esperti previsori/ricercatori: H.J. Etter, C. Fierz, P. Föhn, S. Gliott, S. Harvey, R. Meister, Th. Stucki e F. Tschirky.

Bibliografia

- Atwater, M.M. 1954. Snow avalanches. *Scientific American*, 190(1), 26-31.
- CAA (1995). Observations Guidelines and Recording Standards for Weather, Snowpack and Avalanches. Canadian Avalanche Association, Revelstoke BC, Canada, 97 pp.
- Durand, Y., G. Giraud, E. Brun, L. Mérindol and E. Martin. 1999. A computer-based system simulating snowpack structures as a tool for regional avalanche forecasting. *J. Glaciol.*, 45(151), 469-484.
- Ferguson, S.A. 1984. The role of snowpack structure in avalanching. Ph.D. Thesis, University of Washington, Seattle WA, USA, 150 pp.
- Föhn, P.M.B. 1987. The rutschblock as a practical tool for slope stability evaluation. International Association of Hydrological Sciences Publication 162, 223-228.
- Föhn, P.M.B. 1993. Characteristics of weak snow layers or interfaces. Proceedings International Snow Science Workshop, Breckenridge, Colorado, USA, 4-8 October 1992, 160-170.
- Jamieson, J.B. 1995. Avalanche prediction for persistent snow slabs. Ph.D. Thesis, University of Calgary, Calgary, Alberta, Canada, 258 pp.
- Jamieson, J.B. and C.D. Johnston. 1993. Rutschblock precision, technique variations and limitations. *J. Glaciol.*, 39(133), 666-674.
- Jamieson, J.B. and C.D. Johnston. 2001. Evaluation of the shear frame test for weak snowpack layers. *Ann. Glaciol.*, 32.
- McClung, D.M. 1995. Expert knowledge in avalanche forecasting. *Def. Sci. J.*, 45(2), 117-123.
- McClung, D.M. 2000. Predictions in avalanche forecasting. *Ann. Glaciol.*, 37.
- McClung, D.M. and P. Schaerer. 1993. The Avalanche Handbook. The Mountaineers Book, Seattle WA, USA.
- Meister, R. 1995. Country-wide avalanche warning in Switzerland. Proceedings International Snow Science Workshop, Snowbird, Utah, USA, 30 October-3 November 1994, 58-71.
- Schneebeli, M., C. Pielmeier and J.B. Johnson. 1999. Measuring snow micro structure and hardness using a high resolution penetrometer. *Cold Regions Science and Technology*, 30 (1999) 101-114.
- Schweizer, J., P. Föhn and C. Plüss. 1992. COGENSYS judgement Processor (Paradocs) als Hilfsmittel für die Lawinen-warnung. Eidgenössisches Institut für Schnee und Lawinenforschung, Weissfluhjoch/Davos, Switzerland, Internal report, 675, 33 pp.
- Schweizer, J. and P.M.B. Föhn. 1996. Avalanche forecasting – an expert system approach. *J. Glaciol.*, 42(141), 218-232.
- Schweizer, J. and J.B. Jamieson. 2000. Field observations of skier-triggered avalanches. Proceedings International Snow Science Workshop, Big Sky, Montana, USA, 2-6 October 2000.
- Schweizer, J. and M. Lütschg. 2000. Measurements on human-triggered avalanches from the Swiss Alps. Proceedings International Snow Science Workshop, Big Sky, Montana, USA, 2-6 October 2000.